

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 23320060153387

UDC_____

厦 门 大 学

博 士 学 位 论 文

宽带无线通信抗干扰若干关键理论与技术研究

Researches on Key Theories and Technologies of
Anti-interference in Broadband Wireless Communication
Systems

高志斌

指导教师姓名: 姚 彦 教 授

黄联芬 副教授

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2011 年 07 月

论文答辩时间: 2011 年 09 月

学位授予日期: 2011 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2011 年 07 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘 要

随着无线通信技术的发展, 宽带业务需求日益增长与无线通信系统可用频谱资源稀缺的矛盾将逐步加剧。在紧张的可用频谱资源范围内, 各种通信系统间、同一系统的用户间可能存在无线资源的竞争或不正当占用造成的干扰。此外, 由于宽带无线通信链路一般存在频率选择性衰落, 因此信号传输造成的干扰也比窄带系统严重, 信号自身的 ISI、ICI 干扰、宽带设备的交调产物进一步影响了信号的传输质量。因此, 宽带无线通信系统的抗干扰问题不可忽视。

由于无线传播的特性, 抗干扰需要考虑链路传输过程中受到的各种干扰因素的影响, 但系统层面上的因素, 尤其是网络参数设定不当造成的干扰在宽带无线通信系统中更不可忽视。为此, 本文将宽带无线通信的抗干扰分为链路级抗干扰和系统级抗干扰两部分, 根据现有的或新兴的无线通信技术的特点, 进行抗干扰分析, 给出若干抗干扰新方法的探索。

链路级上通过对 HARQ、OFDM、MIMO 技术的研究, 提出一种不等差错保护 DS-HARQ 机制, 可用于高质量图像及自适应数据的传输; 提出一种基于 OFDM 扩时抗干扰的时域陷波器, 能增强 OFDM 对抗强脉冲干扰的性能; 提出一种基于注水原理的 MIMO-OFDM 比特功率分配方法 (FGLB), 能增强信道状态已知时抗白化干扰性能, 提高系统容量。这些链路级上的新方法能增强链路的抗干扰性能。

系统级上通过对小区边缘干扰问题的研究, 提出一种基于容量调度的频率资源动态分配框架及算法, 能满足容量和频谱的动态需求, 降低同频干扰; 提出一种基于 TD-SCDMA 系统的局部干扰最小的码规划方法, 能够降低复用距离内小区间业务信道的干扰, 具有工程应用价值; 针对用户感知自配置新增站点的互斥性资源分配, 提出了逆向局部竞价拍卖算法, 满足最小代价的无干扰资源分配需求。这些系统级方法通过无线资源的合理规划和管理使宽带无线通信抗干扰问题得到更加全面的解决。

本文还设计了一个基于干扰分析的系统级仿真平台, 为系统干扰问题和抗干扰技术性能的分析提供了仿真验证的手段。

本文以上创新点在宽带无线通信抗干扰中具备一定的理论价值和较强的实际工程应用价值。而随着宽带通信技术的发展, 干扰问题将更加复杂, 本文也希

望在未来宽带无线通信系统发展中,继续深化和进一步研究对抗各种干扰的有效方法。

关键词: 宽带无线; 抗干扰; 链路; 系统; 系统级仿真

Abstract

With development of wireless communication technologies and promotion of broadband services, the conflict between growing demand for broadband services and lack of available spectrum resources are increasing gradually. In such a tight range of available spectrum, unfair competition and the radio resources occupied among communication systems and users within the same system will lead to all kinds of interference. In addition, broadband wireless communication links are generally frequency selective fading channel that causing more serious interference than narrowband systems. The signal transmission quality may be further affected in complex spatial environment, such as ISI, ICI, and inter-modulation interference. Therefore, the interference problem of broadband wireless communication system can not be ignored.

A variety of link level interference factors should be considered for anti-interference. But the system level factors, especially the interference caused by improper network parameter setting in the broadband wireless communication system can not be overlooked. So the researches on broadband wireless anti-interference are divided into two part, link-level anti-interference and system-level anti-interference in this paper. According to existing or emerging wireless communication technologies, the interference analysis is carried out, and new methods of anti-interference are explored.

In link-level, the technologies of HARQ, OFDM and MIMO are analyzed. A novel Unequal-Error-Protection Dual-Segment-Check HARQ (DS-HARQ) mechanism is designed for high-quality images and adaptive data transmission. A time-spreading based OFDM time-domain notch filter is proposed to enhance the performance against pulsed interference in OFDM system. A water-filling based MIMO-OFDM bit loading algorithm Fast Greedy Last Bit (FGLB) is explored to increase system capacity and improve anti-interference performance when channel state information

(CSI) is given. These link-level methods can enhance the anti-interference performance and robustness of link.

In system-level, the cell edge interference problem of cellular network is studied. A capacity-based scheduling flexible carrier allocation strategy for multi-carrier cell architecture is proposed to meet the dynamic needs of capacity and spectrum to reduce co-frequency interference. A local interference minimum code planning algorithm in TD-SCDMA system is designed to reduce the interference within traffic channel among cells in reuse distance. A reverse auction algorithm for carrier allocation in femtocell-like user-sensing self-configuration system is proposed to allocate resource for new added sites. These systems-level methods give a more comprehensive solution for broadband wireless anti-interference issues.

A system-level interference analysis based simulation platform is designed for system interference and anti-interference technologies performance analysis and simulation.

These methods proposed in this paper may be useful in theory and in practicality. But with the development of broadband wireless communication technologies, interference problems will become more and more complex. The further work of this paper is to continue to deepen and further study of effective anti-interference methods.

Key Words: Broadband wireless, Anti-interference, Link, System, System-level simulation

目 录

摘 要	I
Abstract.....	III
缩略语	9
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和工作	1
1.2 宽带无线通信干扰概述	2
1.3 基于链路的抗干扰技术综述	5
1.3.1 通信干扰方程	6
1.3.2 链路抗干扰基本准则	7
1.3.3 链路抗干扰研究热点	10
1.4 基于系统的抗干扰技术综述	11
1.4.1 小区边缘干扰问题	12
1.4.2 系统级抗干扰的研究热点	12
1.5 论文主要工作与章节安排	14
第 2 章 基于链路的多域抗干扰技术.....	16
2.1 链路级抗干扰技术概述	16
2.2 HARQ 时间分集抗干扰	16
2.2.1 HARQ 机制及其关键技术	17
2.2.2 不等差错保护功能的双码段 HARQ 技术	22
2.3 OFDM 时频扩展抗干扰	31
2.3.1 OFDM 概述	31
2.3.2 OFDM 扩时抗干扰性能分析	32
2.3.3 OFDM 时域陷波器设计	34
2.4 MIMO-OFDM 空频抗干扰	38
2.4.1 MIMO-OFDM 概述	38
2.4.2 MIMO-OFDM 基本原理	39
2.4.3 MIMO-OFDM 信道容量分析	39
2.4.4 MIMO-OFDM 系统输出信号分析	42
2.4.5 MIMO-OFDM 系统抗干扰分析	44
2.4.6 OFDM 注水功率分配原理	46
2.4.7 MIMO-OFDM 注水功率分配原理	48
2.4.8 MIMO-OFDM 自适应比特功率分配算法 (FGLB)	49
2.5 本章小结	54
第 3 章 基于小区边缘的抗干扰技术.....	56
3.1 小区边缘干扰简介	56
3.1.1 TD-SCDMA 系统的同频干扰	57
3.1.2 小区拥塞和容量调度	58

3.2	动态频率分配	59
3.2.1	动态频率分配与容量调度原则.....	59
3.2.2	主辅载频分配算法	63
3.2.3	载频分配算法仿真分析	68
3.3	局部干扰最小化的码规划算法	71
3.3.1	TD-SCDMA 码资源及相关性分析.....	72
3.3.2	局部干扰最小的码规划算法	79
3.4	本章小结	87
第4章	基于用户感知的抗干扰技术.....	88
4.1	概述	88
4.1.1	开放频段设备感知抗干扰	88
4.1.2	认知无线电感知抗干扰	90
4.1.3	授权频段设备感知抗干扰	90
4.2	逆向局部拍卖自配置算法	91
4.3	Femtocell 载频/码资源的自配置	95
4.3.1	Femtocell 系统简介	95
4.3.2	新增站点局部配置变动最小的方案.....	96
4.4	本章小结	102
第5章	基于干扰分析的系统级仿真平台设计.....	103
5.1	概述	103
5.2	系统级仿真方法简介	104
5.3	TD-SCDMA 网络性能指标与干扰分析	106
5.4	TD-SCDMA 系统级仿真平台设计	107
5.4.1	TD-SCDMA 系统级抽象与设计框架.....	107
5.4.2	覆盖仿真子系统设计及其关键技术.....	110
5.4.3	业务仿真子系统设计及其关键技术.....	120
5.5	仿真与分析	127
5.6	本章小结	131
第6章	总结与展望.....	132
6.1	总结	132
6.2	展望	132
	攻读博士学位期间的研究工作和研究成果	134
	参考文献	136
	致 谢	146

Contents

Abstract (In Chinese).....	I
Abstract (In English)	III
Abbreviations	9
Chapter 1. Introduction.....	1
1.1 Background and Work.....	1
1.2 Overview of Broadband Wireless Communication Interference	2
1.3 Overview of Link-Based Anti-interference Technologies.....	5
1.3.1 Communication Interference Equation	6
1.3.2 Basic Criteria of Link-level Anti-interference	7
1.3.3 Research focus of Link-level Anti-interference	10
1.4 Overview of System-Based Anti-interference technologies	11
1.4.1 Cell Edge Interference	12
1.4.2 Research Focus of System-level Anti-interference.....	12
1.5 Work and Chapters Arrangement	14
Chapter 2. Link-Based Multi-domain Anti-interference Technologies.....	16
2.1 Overview of Link-level Anti-interference Technologies.....	16
2.2 HARQ Time-diversity Anti-interference.....	16
2.2.1 HARQ Mechanism and Key Technologies	17
2.2.2 UEP Dual-Segment-Check HARQ Technology	22
2.3 OFDM Time-Frequency Spreading Anti-interference	31
2.3.1 Overview of OFDM.....	31
2.3.2 Analysis of OFDM Time-Frequency Spreading Anti-interference Performance	32
2.3.3 OFDM Time-domain Notch Filter Design.....	34
2.4 MIMO-OFDM Space-Frequency Anti-interference.....	38
2.4.1 Overview of MIMO-OFDM	38
2.4.2 Fundamentals of MIMO-OFDM.....	39
2.4.3 Channel Capacity Analysis of MIMO-OFDM.....	39
2.4.4 Output Signal of MIMO-OFDM System.....	42
2.4.5 Analysis of MIMO-OFDM system Anti-interference	44
2.4.6 OFDM Water-filling Power Allocation Algorithm	46
2.4.7 MIMO-OFDM Water-filling Power Allocation Algorithm.....	48
2.4.8 MIMO-OFDM Adaptive Bit Power Allocation Algorithm (FGLB)	49
2.5 Summary	54
Chapter 3. Cell Edge Based Anti-interference Technologies.....	56
3.1 Introduction of Cell Edge Interference	56
3.1.1 Co-frequency Interference in TD-SCDMA System.....	57
3.1.2 Cell Congestion and Capacity Scheduling.....	58
3.2 Dynamic Frequency Allocation.....	59

3.2.1 Principles of Dynamic Frequency Allocation and Capacity Scheduling	59
3.2.2 Algorithm of Main and Auxiliary Carrier Allocation.....	63
3.2.3 Simulation and Analysis of Carrier Allocation Algorithm.....	68
3.3 Local Interference Minimum Code Planning Algorithm	71
3.3.1 TD-SCDMA Code Resources and Correlation Analysis	72
3.3.2 Local Interference minimum Code Planning Algorithm.....	79
3.4 Summary	87
Chapter 4. User Sensing Based Anti-interference Technologies	88
4.1 Overview	88
4.1.1 Devices Sensing Anti-interference in ISM Waveband.....	88
4.1.2 Cognitive Radio Sensing Anti-interference	90
4.1.3 Devices Sensing Anti-interference in Authorized Waveband	90
4.2 Reverse Auction Algorithm for Self-configuration.....	91
4.3 Self-Configuring of Carrier/Code in Femtocells.....	95
4.3.1 Introduction of Femtocells.....	95
4.3.2 Local Minimum Configuration Changes Solution for New Added Sites.....	96
4.4 Summary	102
Chapter 5. Design Interference Analysis Based System-level Simulation Platform	103
5.1 Overview	103
5.2 Introduction of System-level Simulation	104
5.3 TD-SCDMA Network KPI and Interference Analysis	106
5.4 TD-SCDMA System-level Simulation Platform Design	107
5.4.1 TD-SCDMA System-level Abstraction and Framework.....	107
5.4.2 Design and Key Technologies of Coverage Simulation Subsystem	110
5.4.3 Design and Key Technologies of Traffic Simulation Subsystem.....	120
5.5 Simulation and Analysis.....	127
5.6 Summary	131
Chapter 6. Conclusion and Further Work.....	132
6.1 Conclusion	132
6.2 Further Work	132
Research Work and Achievements during Ph.D	134
References	136
Acknowledgement.....	146

图目录

图 1-1 干扰前后业务信道承载 ERL 对比.....	4
图 1-2 干扰前后呼叫阻塞率对比.....	4
图 1-3 干扰链路示意图.....	6
图 1-4 时域准则示意图.....	8
图 1-5 频域准则示意图.....	8
图 1-6 红军在蓝军干扰范围边缘外选路通信.....	10
图 2-1 差错控制分类示意图.....	17
图 2-2 chase 合并原理图.....	21
图 2-3 小波系数表（越往左上角越低频越重要）.....	23
图 2-4 2 维小波变换示意图.....	23
图 2-5 SPIHT 80 倍压缩（0.1bpp 效果）.....	23
图 2-6 相近误码率下不同比特受到污染对比图.....	24
图 2-7 SPIHT 不同码段渐进译码性能对比.....	24
图 2-8 并行级联卷积码编码结构.....	25
图 2-9 RSC 编码器.....	25
图 2-10 Turbo 码迭代译码器.....	26
图 2-11 不等差错保护功能的 DS-HARQ 框图.....	28
图 2-12 Turbo 改进译码器框图.....	30
图 2-13 DS-HARQ 仿真结果比较图.....	30
图 2-14 SPIHT 结合 DS-HARQ 效果.....	31
图 2-15 时域陷波器示意图.....	34
图 2-16 脉冲干扰信号频谱.....	36
图 2-17 不同调制方式的抗干扰性能曲线.....	37
图 2-18 OFDM 陷波器性能曲线.....	37
图 2-19 时域陷波 OFDM 解调器示意图.....	38
图 2-20 MIMO 系统原理框图.....	39
图 2-21 MIMO-OFDM 系统结构原理图.....	42
图 2-22 结合预编码空间复用的 MIMO-OFDM 系统框图.....	45
图 2-23 平均分配功率与注水分配功率及其信道容量 C 示意图.....	48
图 2-24 FGLB 算法分配比特和功率（SISO-OFDM 无干扰）.....	52
图 2-25 FGLB 算法分配比特和功率（SISO-OFDM 25% 带宽同频干扰）.....	53
图 2-26 FGLB 算法分配比特和功率（MIMO-OFDM 25% 带宽同频干扰）.....	53
图 2-27 FGLB 算法与 Chow-Campello 算法比较（25% 带宽同频干扰）.....	54
图 3-1 BBU+RRU 模式示意图.....	60
图 3-2 频点分配示意图.....	62
图 3-3 频点分配仿真场景示意图.....	69
图 3-4 相同度内不同顶点顺序主载频 HPCA 分配结果比较.....	69
图 3-5 辅载频 MNIACA 和 MSACA 算法分配结果比较.....	70
图 3-6 动态辅载频 DACA 算法分配结果.....	71
图 3-7 OVSF 码树.....	74
图 3-8 扩频码和扰码处理过程 ^{[101][102][104]}	74

图 3-9 复合码[0~15]chips 时延下的最大互相关值	77
图 3-10 互斥性码规划基本流程	80
图 3-11 待规划小区优先级排序流程	82
图 3-12 码规划总流程	83
图 3-13 局部优化算法复合码间相关性平均值	86
图 3-14 局部优化与现网原来码规划结果对比	86
图 4-1 工作于 2.4GHz ISM 频段无线系统的信号 ^[112]	89
图 4-2 逆向拍卖算法基本模型	92
图 4-3 基于图论原理的干扰图模型	93
图 4-4 基于逆向拍卖的局部载频分配方法流程图	97
图 4-5 某住宅区 Femtocell 拓扑与载频配置示意图	98
图 4-6 逆向拍卖算法	98
图 4-7 遗传算法载频重分配结果	100
图 4-8 基于 Matlab 的资源分配算法平台截图	100
图 4-9 局部站点码规划流程	102
图 5-1 TD-SCDMA 物理信道的信号格式	107
图 5-2 TD-SCDMA 系统级仿真框图	109
图 5-3 TD-SCDMA 的仿真总体流程	110
图 5-4 公共控制信道覆盖仿真模块化框图	110
图 5-5 天线方向图 (65 度)	111
图 5-6 计算天线与接收机的方向角夹角及下倾角夹角	112
图 5-7 仿真场景中 Cell3RRU4 的天线增益图	112
图 5-8 传播模型校正结果	117
图 5-9 真实场景建模射线跟踪示意图	117
图 5-10 源点与场点的射线跟踪路径示意图	118
图 5-11 业务仿真子系统模块化框架	120
图 5-12 系统级仿真平台功率控制模块示意图	124
图 5-13 仿真场景实例 (标准 7 站点/21 扇区)	127
图 5-14 接收功率示意图	127
图 5-15 盲区示意图	127
图 5-16 覆盖要求 (RSCP) — 覆盖率曲线	128
图 5-17 最佳服务小区示意图	128
图 5-18 干扰示意图	129
图 5-19 SIR 示意图	129
图 5-20 新增站点前后的最佳服务小区示意图	129
图 5-21 干扰示意图	130
图 5-22 瞬态所有用户	130
图 5-23 瞬态所有服务用户	130
图 5-24 上行小区内干扰	131
图 5-25 上行总干扰	131

表目录

表 1-1 干扰分类..... 3

表 2-1 打孔矩阵表(in Octal) M=3,P=4 28

表 3-1 TD-SCDMA 与 WCDMA/cdma2000 抗干扰能力对比^[82]..... 57

表 3-2 三种辅载频分配算法结果 70

表 3-3 TD-SCDMA 的同步码、扰码和中间码^[101]..... 72

表 3-4 在小区频率及扰码不同配置下的用户感知^[105]..... 75

表 3-5 同频和异频条件下不同网络负荷的切换情况及用户感知^[105]..... 75

表 3-6 部分扰码码字 76

表 3-7 OVSF 码字..... 77

表 3-8 扰码分组 (SF=16) 78

表 3-9 复合码组之间的最大互相关值 (SF=16) 79

表 5-1 业务的码道需求与扩频因子配置 121

厦门大学博硕士论文摘要库

缩略语

BCH: Broadcast Channels, 广播信道

CDMA: Code Division Multiple Access, 码分多址

CI: Carrier to interference, 载干比

CSI: Channel State Information, 信道状态信息

DCA: Dynamic Channel Allocation, 动态信道分配

HARQ: Hybrid Automatic Repeat Request, 混合自动重传请求

ICI: Inter Carrier Interference, 载波间干扰

ISI: Inter Symbol Interference, 符号间干扰

KPI: key performance indicator, 网络关键指标

LTE: Long Term Evolution, 3GPP长期演进项目。

Midamble Code, 中间码, 或称中间训练码

MIMO: Multi-input Multi-output,

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 正交频分复用

OVSF: Orthogonal Variable Spreading Factor, 正交扩频码

PHS: Personal Handyphone System, 个人手机系统, 即小灵通

PCCPCH: Primary Common Control Physical Channel, 主公共控制物理信道

QoS: Quality of Service, 服务质量

RRM: Radio Resource Management, 无线资源管理

SC-FDE: Single Carrier Frequency Domain Equalizer, 单载波频域均衡器

Scrambling Code (or Scramble Code): 扰码

SYNC-DL: 下行同步码。

SYNC-UL: 上行同步码。

TDMA: Time Division Multiple Access, 时分多址

TD-SCDMA: Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access, 时分同步码分多址技术

TFFR: TD-SCDMA Flexible Frequency Reuse, TD-SCDMA 灵活频率再用

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access, 全球微波接入互联

厦门大学博硕士论文摘要库

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库